

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
4. April 2002 (04.04.2002)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 02/27349 A2**

- (51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: **G01S 7/00**
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP01/10813
- (22) Internationales Anmeldedatum:  
19. September 2001 (19.09.2001)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:  
200 16 962.9 27. September 2000 (27.09.2000) DE  
101 15 150.0 27. März 2001 (27.03.2001) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **ENDRESS + HAUSER GMBH + CO. KG** [DE/DE]; Hauptstrasse 1, 79689 Maulburg (DE). **KESSLER, Michael** [DE/DE]; Weimarerstrasse 32, 69514 Laudenbach (DE).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **BEST, Herrmann** [DE/DE]; Lilienstrasse 44, 69245 Bammental (DE). **HERTEL, Markus** [DE/DE]; Schifferstrasse 26, 68623 Lampertheim (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (national): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW.
- (84) Bestimmungsstaaten (regional): eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).
- Veröffentlicht:**  
— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts
- Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(54) Title: METHOD FOR DETECTING THE LIMIT STATE OF A MATERIAL, AND DEVICE THEREFOR

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR ERFASSUNG DES GRENZSTANDES EINES GUTES UND VORRICHTUNG HIERZU

(57) Abstract: The invention relates to a method and device for detecting the limit state of a material having a given dielectric constant. To this end, the invention uses a holding device, inside of which two electrically conductive rods are arranged. When a limit state is attained, said rods are immersed into the material to be monitored and are connected to an electric circuit. Said circuit generates high-frequency transmit pulses, which are fed to the rods via the line according to the principle of time-domain reflectometry. The signals reflected into the air by the boundary layer of the material are evaluated on the basis of their waveform.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Erfassung des Grenzstandes eines Gutes mit gegebener Dielektrizitätskonstante, unter Verwendung einer Halterung, in der zwei elektrisch leitende Stäbe angeordnet sind, die bei Erreichen des Grenzstandes in das zu überwachende Gut eintauchen und mit einer elektrischen Schaltung verbunden sind. Diese erzeugt Hochfrequenz-Sendepulse, die nach dem Prinzip der Zeitbereichsreflektometrie über die Leitung auf die Stäbe aufgegeben werden. Die an der Grenzschicht des Gutes zur Luft reflektierten Signale werden anhand ihrer Kurvenform ausgewertet.

WO 02/27349 A2

## **Verfahren zur Erfassung des Grenzstandes eines Gutes und Vorrichtung hierzu**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erfassung des Grenzstandes eines Gutes mit gegebener Dielektrizitätskonstante, unter Verwendung einer Halterung als Prozeßdurchführung, in der wenigstens ein elektrisch leitender Stab mit einem Ende angeordnet sind, dessen anderes Ende bei Erreichen des Grenzstandes in das zu überwachende Gut eintaucht, wobei das in der Halterung sitzende Ende des Stabes über eine elektrische Leitung mit einer elektrischen Schaltung zur Erzeugung von Hochfrequenz-Sendepulsen verbunden ist, die zum Empfang der Echos einen Echoverstärker aufweist, wobei die Hochfrequenz-Sendepulse als geführte Mikrowelle nach dem Prinzip der Zeitbereichsreflektometrie, TDR-Messung, über die Leitung auf den Stab aufgegeben werden, wobei die an der Grenzschicht des Gutes zur Luft reflektierten Signale in den Echoverstärker zur Auswertung zurückgeleitet werden und das Reflexionssignal zeitgedehnt wird, und drei zeitlich aufeinanderfolgende Bereiche, nämlich Sendepuls (Abschnitt I), Laufzeit (Abschnitt II) und Zeitabtafstfenster (Abschnitt III) unterschieden werden, wobei das Zeitabtafstfenster zu einem Startzeitpunkt beginnt, gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1. Ebenso betrifft die Erfindung ein Zeitbereichsreflektometer für die Anwendung des Anspruchs 1.

Zur Bestimmung des Grenz- oder Füllstandes von Medien in einem Behältnis sind Sensoren für die Füllstands- bzw. Grenzstandsmessung auf der Basis der Zeitbereichsreflektometrie (time domain reflectometry, TDR) bekannt, wozu die US-A-5,609,059 eine Übersicht gibt. Derartige Sensoren arbeiten als kontinuierliche Systeme und basieren auf der Laufzeitmessung elektromagnetischer Signale, die sich entlang eines offenen Wellenleiters ausbreiten, nämlich die Auswertung der Laufzeit und der Reflexion eines Impulses auf dem Wellenleiter. Entsprechend dem Füllstand des Mediums ragt der Wellenleiter in das Medium hinein oder nicht und signalisiert im erstgenannten Fall einen Grenzwert. Der Wellenleiter ist beispielsweise eine Sommerfeldleitung, eine Goubau-Leitung, ein Koaxialkabel, ein Mikrostreifen oder eine koaxiale oder parallele Anordnung von zwei Leitungen, zum Beispiel zwei Sondenstäbe. Kommen diese mit dem Medium in Berührung, so ändert sich der Wellenwiderstand aufgrund der unterschiedlichen Dielektrizitätskonstanten des Mediums im Vergleich zu Luft. Das Medium bewirkt an der Grenzfläche zum Außenmedium bzw. auch im Falle von Schichtbildung

## 2

innerhalb des Mediums aufgrund der sprunghaften Änderung seiner dielektrischen Eigenschaften eine Diskontinuität in den Übertragungseigenschaften des eintauchenden Wellenleiters, so daß sich entlang bzw. innerhalb des Wellenleiters ausbreitende Pulse an diesen Stellen wenigstens teilweise reflektiert werden. Aus dem rückreflektierten Signal kann somit die Distanz bzw. Höhe einer Grenzschicht bestimmt werden, indem der Zeitpunkt des Empfangs des rückreflektierten Pulses mit dem Zeitpunkt des Aussendens verglichen wird. Hierbei findet über eine Auswertung der Echo-Amplitude eine Laufzeitmessung statt. Bei kleinen DK-Werten ist eine Amplituden-Auswertung nicht möglich.

Einen Überblick über die Vorgänge von Impulsen auf Leitungen gibt Wolfgang Hilberg: Impulse auf Leitungen, Oldenbourg Verlag 1981. Eine Welle läuft auf einer Leitung unverändert fort, solange die Leitungseigenschaften und insbesondere der Querschnitt gleich bleiben. Ändert sich dies plötzlich, so wird an dieser Stelle die hinlaufende Welle gespalten in eine reflektierte, rücklaufende, Teilwelle und in eine gebrochene, weitergehende Teilwelle. Die an der Stoßstelle reflektierte Welle hat dieselbe Form wie die hinlaufende Welle; lediglich die Laufrichtung der rücklaufenden Welle sowie die Amplitude haben sich geändert. Wird eine Sprungwelle auf das offene Leitungsende einer Leitung, d.h. beim Übergang eines bestimmten Wellenwiderstandes zum Wellenwiderstand  $\infty$  sowie bei angepaßten Verhältnissen am Eingang, aufgegeben, so verdoppelt sich die Spannung der rücklaufenden Welle und der Strom kehrt sich um. Im Falle eines Kurzschlusses der Leitungsenden wird die Spannung mit umgekehrten Vorzeichen reflektiert, der Strom verdoppelt sich bei gleichem Vorzeichen.

Im Betrieb eines TDR-Sensors wird mit jeder Periode eines Sende-Triggersignals ein Sendepuls erzeugt und ausgesendet. Das rückreflektierte Signal wird einer Signalabtastschaltung zugeführt, um den zeitlich kurzen Vorgang zeitgedreht darstellbar und auswertbar zu machen. Diese wird mit dem Triggersignal der Abtastfrequenz getriggert, wobei das periodische Signal zu den Abtast-Triggerzeitpunkten abgetastet wird. Durch eine zeitproportionale Verzögerung des Abtast-Triggersignals gegenüber dem Sende-Triggersignal erzeugt die Abtasteinrichtung ein Ausgangssignal, dessen Amplitudenverlauf durch die entsprechenden Augenblickswerte des Sondensignals gegeben ist. Das Ausgangssignal stellt somit ein zeitgedehntes Bild des Sondensignals dar. Nach Verstärkung und Filterung bildet dieses Ausgangssignal bzw. ein zeitlicher Ausschnitt desselben

das Reflexionsprofil, aus welchem die Laufzeit des rückreflektierten Signals und damit der Abstand der Grenzschicht ermittelt werden kann.

Problematisch bei derartigen Sensoren ist die hohe Störempfindlichkeit gegenüber hochfrequenten Störsignalen. Ein Störsignal, welches auf den Wellenleiter einkoppelt, überlagert sich dem rückreflektierten Signal und wird ebenfalls von der breitbandigen Abtastschaltung erfaßt. Ein typisches schmalbandiges Störsignal wird bei Tests zur elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) durch eine Trägerschwingung mit einer Grundfrequenz von 80 MHz bis 1 GHz mit einer niederfrequenten Amplitudenmodulation (z.B. 1 kHz) nachgebildet. Befindet sich die Trägerfrequenz in der Nähe eines ganzzahligen Vielfachen der Abtastfrequenz, d.h. innerhalb eines sogen. „Frequenzempfangsfensters“, so kann diese Störung durch eine Tiefpaßfilterung nach der Abtasteinrichtung nicht unterdrückt werden. Da das Störsignal nach Art einer Bandpaßabtastung mit der Abtastfrequenz abgetastet wird, ist dem Reflexionsprofil gegenüber dem ungestörten Fall eine Schwingung überlagert, welche dessen Auswertung erschwert und u.U. verfälscht. Aufgrund des Meßprinzips mit einer breitbandigen Empfangsschaltung und einer Sonde, die als Stabantenne wirkt, ist der Einkoppelfaktor von Störungen sehr hoch. Damit ist das Nutzsignal bei einer Störung, die in einem Frequenzempfangsfenster liegt, in der Regel nur schwer auswertbar.

Durch die DE 298 15 069 U1 ist ein TDR-Grenzstandssensor bekannt geworden, welcher aus einem in ein Gut eintauchenden Wellenleiter besteht, an den eine Samplingschaltung angeschlossen ist, welche einen Sendeimpulsgenerator zur Erzeugung eines gepulsten Hochfrequenzwellensignals, einen Empfänger zum Empfang des Hochfrequenzwellensignals, eine Sende-/Empfangstrennung zum Trennen des gesendeten und empfangenen Hochfrequenzwellensignals, einen Abtaster zum Abtasten des empfangenen Hochfrequenzwellensignals, einen Abtastpulsgenerator zur Steuerung des Abtasters und einen Zwischenspeicher zur temporären Speicherung des empfangenen Hochfrequenzwellensignals aufweist. Die Samplingschaltung besitzt zwei Oszillatoren, von denen wenigstens einer in der Frequenz variierbar ist, deren einer den Sendegenerator und der andere den Abtastpulsgenerator steuert. Ein Frequenzmischer bildet aus den beiden Frequenzen die Differenz, welche zur Einstellung des Zeitdehnungsfaktors auf einen Sollwert wird. Das reflektierte Signal einer derartige Vorrichtung ist jedoch nur schlecht bzw. schwer auszuwerten, weil sich das Signal und das reflektierte

Signal fast überlagern und nur sehr schwer mit einem hohen baulichen Aufwand noch ausreichend zu trennen sind.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Erfassung des Grenzstandes eines Gutes sowie zur Bestimmung der Dielektrizitätskonstante des Gutes und ein Zeitbereichsreflektometer für den Einsatz als Grenzwertschalter zur Erfassung des Grenzstandes eines Gutes zur Durchführung des Verfahrens zu schaffen, welches zum einen eine erhöhte Störsicherheit aufweist, universell, nämlich unabhängig von Temperatur, Druck oder insbesondere der Beschaffenheit des Mediums, Flüssigkeit oder Schüttgut, einsetzbar sein soll und auch für Güter mit kleiner Dielektrizitätskonstante DK (DK zwischen 1,8 bis 5) geeignet sein soll.

Diese Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren zur Erfassung des Grenzstandes eines Gutes mit gegebener Dielektrizitätskonstante, unter Verwendung einer Halterung als Prozeßdurchführung, in der wenigstens ein elektrisch leitender Stab mit einem Ende angeordnet sind, dessen anderes Ende bei Erreichen des Grenzstandes in das zu überwachende Gut eintaucht, wobei das in der Halterung sitzende Ende des Stabes über eine elektrische Leitung mit einer elektrischen Schaltung zur Erzeugung von Hochfrequenz-Sendepulsen verbunden ist, die zum Empfang der Echos einen Echoverstärker aufweist, wobei die Hochfrequenz-Sendepulse als geführte Mikrowelle nach dem Prinzip der Zeitbereichsreflektometrie, TDR-Messung, über die Leitung auf den Stab aufgegeben werden, wobei die an der Grenzschicht des Gutes zur Luft reflektierten Signale in den Echoverstärker zur Auswertung zurückgeleitet werden und das Reflexionssignal zeitgedehnt wird, und drei zeitlich aufeinanderfolgende Bereiche, nämlich Sendepuls (Abschnitt I), Laufzeit (Abschnitt II) und Zeitabtastfenster (Abschnitt III) unterschieden werden, wobei das Zeitabtastfenster zu einem Startzeitpunkt beginnt, gekennzeichnet durch folgende Merkmale:

- a) bei beiden Betriebszuständen des zu erfassenden Gutes, nämlich Bedeckung, Kurzschluss bzw. Fastkurzschluss, sowie Nichtbedeckung, Leerlauf, wird ein Reflexionssignal an der Grenzschicht Stab-Medium bzw. Stab-Luft erzeugt durch die Änderung des Wellenwiderstandes, welche an der Grenzschicht Stab-Medium oder Stab-Luft vorliegt,
- b) die am Echoverstärker erhaltene Kurvenform des zeitgedehnten Reflexionssignals dient zur Bestimmung des Grenzstandes, wobei innerhalb des Zeitabtastfensters mindestens drei signifikante Punkte des Reflexionssignals

numerisch bzw. mittels Kurvendiskussion ausgewertet werden und aus mindestens einem Kurvenverlauf während des Abschnitts II eine Referenzspannung ermittelt wird, wobei

c) eine Nichtbedeckung, Leerlauf, daran erkannt wird, daß das Reflexionssignal innerhalb des Zeitabtastrasters folgende Eigenschaften besitzt:

- es liegt nur ein Tiefpunkt vor, der unterhalb einer vorgegebenen ersten Schwelle liegt, welche sich von der Referenzspannung durch einen Offset unterscheidet,

d) ein erster Bedeckzustand daran erkannt wird, daß das Reflexionssignal innerhalb des Zeitabtastrasters folgende Eigenschaften besitzt:

- es liegt ein Hochpunkt vor, welcher oberhalb einer vorgegebenen zweiten Schwelle liegt, wobei diese zweite Schwelle ebenfalls aus der Referenzspannung und dem Offset ermittelt wird,

e) ein zweiter unterschiedlicher Bedeckzustand daran erkannt wird, daß das Reflexionssignal innerhalb des Zeitabtastrasters folgende Eigenschaften besitzt:

- es liegen zwei Tiefpunkte vor,
- der zeitlich zweite Tiefpunkt liegt um einen vorgegebenen Betrag unterhalb des ersten Tiefpunktes,

f) ein dritter unterschiedlicher Bedeckzustand daran erkannt wird, daß das Reflexionssignal innerhalb des Zeitabtastrasters folgende Eigenschaften besitzt:

- es liegt ein Tiefpunkt vor, der unterhalb einer vorgegebenen ersten Schwelle liegt, welche sich von der Referenzspannung durch einen Offset unterscheidet,
- zwischen dem Startzeitpunkt des Zeitabtastrasters und dem Tiefpunkt befindet sich ein Wendepunkt, der zwischen einem lokalen Hochpunkt und einem lokalen Tiefpunkt liegt, wobei der lokale Tiefpunkt und der lokale Hochpunkt einen vorgegebenen Mindestabstand überschreiten.

Die Aufgabe wird ferner gelöst durch ein Zeitbereichsreflektometer für den Einsatz als Grenzwertschalter zur Erfassung des Grenzstandes eines Gutes mit gegebener Dielektrizitätskonstante, mit einer Halterung als Prozeßdurchführung, in der wenigstens ein elektrisch leitender Stab mit einem Ende angeordnet ist, dessen anderes Ende bei Erreichen des Grenzstandes in das zu überwachende Gut eintaucht, wobei das in der Halterung sitzende Ende des Stabes über eine elektrische Leitung mit einer elektrischen Schaltung zur Erzeugung von Hochfrequenz-Sendepulsen verbunden ist, die zum Empfang der Reflexionssignale, Echos, einen Echoverstärker aufweist, wobei die Hochfrequenz-Sendepulse als geführte Mikrowelle nach dem Prinzip der Zeitbereichsreflektometrie, TDR-

## 6

Messung, über die Leitung auf den Stab aufgebbar sind, und die an der Grenzschicht des Gutes zur Luft reflektierten Signale in den Echoverstärker zur Auswertung zurückgeleitet und zeitgedehnt werden, wobei die Wellenwiderstände des Stabes und der Prozeßdurchführung so gewählt sind, dass in der Auswertung drei zeitlich aufeinanderfolgende Bereiche, nämlich Sendepuls (Abschnitt I), Laufzeit (Abschnitt II) und Zeitabtastfenster (Abschnitt III) unterschieden werden können, wobei die innerhalb des Zeitabtastfensters ermittelten Kurvenformen der Reflexionssignale zur Bestimmung des Grenzstandes dient.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen gekennzeichnet.

Ein wesentlicher Vorteil der Erfindung besteht darin, daß sie im Gegensatz zum Stand der Technik auch bei kleinen DK-Werten eine zuverlässige Auswertung ermöglicht.

Ein Zeitbereichsreflektometer für den Einsatz als Grenzwertschalter zur Erfassung des Grenzstandes eines Gutes mit gegebener Dielektrizitätskonstante besteht aus einer Halterung als Prozeßdurchführung, in der wenigstens ein elektrisch leitender Stab mit einem Ende angeordnet ist, dessen anderes Ende bei Erreichen des Grenzstandes in das zu überwachende Gut eintaucht, wobei das in der Halterung sitzende Ende des Stabes über eine elektrische Leitung mit einer elektrischen Schaltung zur Erzeugung von Hochfrequenz-Sendepulsen verbunden ist, die als geführte Mikrowelle nach dem Prinzip der Zeitbereichsreflektometrie, TDR-Messung, über die Leitung auf den Stab aufgebbar sind, wobei die an der Grenzschicht des Gutes zur Luft reflektierten Signale in die elektrische Schaltung zur Auswertung zurückgeleitet werden, wobei der Wellenwiderstand des Stabes so gewählt ist, dass er sich vom Wellenwiderstand des Gutes unterscheidet und die erhaltene Kurvenform des Reflexionssignals zur Bestimmung des Grenzstandes dient, und bis zu drei signifikante Punkte der Kurvenform ausgewertet werden. Bevorzugt weist das Gut eine Dielektrizitätskonstante größer als 1,8 auf.

Die Erfindung geht von der Tatsache aus, dass die an einer Stoßstelle reflektierte Welle dieselbe Form wie die hinlaufende Welle hat; lediglich die Laufrichtung der rücklaufenden Welle sowie die Amplitude haben sich geändert. Bei Verwendung von zwei parallelen Stäben in der Prozeßdurchführung wird der Wellenwiderstand

zwischen den Stäben durch das dazwischen befindliche Gut verändert. Der Wellenwiderstand einer solchen Anordnung errechnet sich wie folgt:

$$Z = \frac{120}{\sqrt{\epsilon_r}} \cdot \ln \left( \frac{2a}{d} \right)$$

Z Wellenwiderstand / Ohm

$\epsilon_r$  relative Dielektrizitätskonstante (DK-Wert)

a Abstand zwischen den Mittelpunkten der Stäbe / mm

d Durchmesser der Stäbe / mm

Unter der Leerlaufmessung wird dasjenige Reflexionssignal aus dem Sendepuls verstanden, welches bei Leerlauf an den Stabenden reflektiert wird, das heißt, ohne dass die Stabenden mit dem Gut in Berührung stehen. Bei Grenzstand hängt die Stärke der Reflexion vom DK-Wert ab, was bei hohen DK-Werten dazu führt, dass der größte Teil am Übergang von Luft zum Medium reflektiert wird und die in das Gut eintauchenden Stabenden kaum noch Auswirkungen auf den Signalverlauf haben.

Erfindungsgemäß wird die Form des reflektierten Impulses ausgewertet, weil es bei unterschiedlichen Wellenwiderständen nicht nur zu Reflexionen mit unterschiedlich hohen Amplituden und unterschiedlichen Polaritäten, sondern auch zu Verformungen des reflektierten Signals in Abhängigkeit der Dielektrizitätskonstante, DK-Wert, des Gutes und in Abhängigkeit der Benetzung der Stäbe mit dem Gut kommt. Ist der DK-Wert des Gutes größer als 10, so tritt am Ende der Stäbe eine fast vollständige Umkehr des Impulses ein, da fast ein Kurzschluß herrscht. Typische Medien mit einem hohen DK-Wert sind Wasser mit  $\epsilon_r \approx 80$  oder Pril mit  $\epsilon_r \approx 40$ .

Mittlere DK-Werte liegen im Bereich von 5-10; hier sind typische Medien Essig, Honig und Ethanol. Hier bilden sich an den Stäben nur bedingt hohe Reflexionen aus, die jedoch weitaus höher sind als bei Medien mit DK-Werten kleiner 5. Niedrige DK-Werte liegen im Bereich von >1-5, wobei 1 der DK-Wert von Luft ist. Typische Medien in diesem Bereich sind Kaffeepulver, Gips, Reis, Salz und Zucker. Bei diesen DK-Werten bildet sich an den Stäben nur eine kleine Reflexion aus, da sich die DK-Werte nicht stark von Luft unterscheiden, so dass somit



## 8

beinahe der Fall der Leitung mit offenem Ende vorliegt. Allerdings deckt das Erkennen von Gütern mit DK-Werten  $> 1,8$  bereits ein Spektrum von 95% aller verwendeten Güter im Bereich der Prozeßautomation ab.

Bei hoher Dielektrizitätskonstante des Gutes mit einem DK-Wert  $> 10$  wird das Merkmal d), bei mittlerer Dielektrizitätskonstante des Gutes mit einem DK-Wert zwischen 5 bis 10 das Merkmal e) und bei kleiner Dielektrizitätskonstante des Gutes mit einem DK-Wert  $< 5$  das Merkmal f) erkannt.

Die mit der Erfindung gewonnenen Ergebnisse zeigen, dass die Erfindung in hervorstechender Weise geradezu prädestiniert ist, um Medien aller Art, insbesondere Schüttgüter oder Flüssigkeiten oder viskose Medien, wie Honig, mit anhaftendem Verhalten grenzwertmäßig zu erkennen, weil das erfindungsgemäße Verfahren wie auch das Zeitbereichsreflektometer einen gewissen Bereich von Anhaftungen ohne Verfälschungen ertragen kann und immer noch zu erkennen imstande ist, dass sich kein Gut oder Medium an den Stäben befindet. Das erfindungsgemäße Zeitbereichsreflektometer erkennt erheblich mehr Güter als bekannte Sensoren des Standes der Technik wie es auch unempfindlich gegenüber Anhaftungen des Mediums an den Stäben bei kleinen DK-Werten des Mediums ist und eine zuverlässige Auswertung auch bei kleinen DK-Werten erlaubt.

Die Wellenwiderstände und Abmessungen der Prozeßdurchführung sind vorzugsweise so gewählt, daß damit ein Reflexionssignal entsteht, welches bis zu sechs signifikante Punkte zur sicheren Auswertung des Grenzstandes aufweist. Vorzugsweise werden somit bis zu sechs signifikante Punkte der Kurvenform ausgewertet. Die Kurvenform des Reflexionssignals wird vorzugsweise nach A/D-Wandlung mit Hilfe der elektronischen Schaltung abgetastet, wobei signifikante Punkte, welche in das Zeitabtastfenster fallen, insbesondere Hochpunkt, Tiefpunkte, lokaler Hochpunkt, lokaler Tiefpunkt, der Kurvenform ermittelt und ihre Lage einer Auswertung zugeführt werden. Durch die erfindungsgemäße Auswertung der charakteristischen Kurvenform ist es vorteilhafterweise möglich, selbst bei relativ langsamer Anstiegszeit des Sendepulses von ca. 300-600 ps kurze Stablängen zu verwenden. Die Verwendbarkeit von kurzen Stablängen ist ein weiterer Vorteil gegenüber der Amplitudenauswertung, bei welcher erheblich längere Stäbe zur Anwendung kommen müssen.

Die Prozeßdurchführung kann insbesondere eine Prozeßverschraubung sein. In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist die Prozeßdurchführung eine rohrförmige Prozeßdurchführung mit einem äußeren Metallgewinde, innerhalb derselben sich mindestens ein Isolierkörper als isolierende Halterung für die Stäbe sowie dieselben befinden.

Das Zeitabtafstfenster kann variabel sein und der Startzeitpunkt desselben kann dadurch definiert sein, daß das Reflexionssignal um einen vorgegebenen Wert vom Referenzwert abweicht oder insbesondere diesen um einen vorgegebenen Wert unterschreitet.

Vorzugsweise werden zwei parallel in der Halterung angeordnete Stäbe verwendet, wobei als Leitung eine Koaxialleitung verwendet wird, deren wählbare Länge zur vorgebbaren Laufzeitverlängerung zwischen den hinlaufenden Sendepulsen und den rücklaufenden Reflexionssignalen und damit zu deren zeitlicher Trennbarkeit dient, wobei der Innenleiter der Koaxialleitung mit dem einen Stab und der andere Stab über den Außenleiter mit Masse der elektrischen Schaltung verbunden oder kapazitiv an diese angekoppelt ist.

Die elektrische Schaltung weist vorzugsweise eine Verzögerungsschaltung auf, in der eine Rechteckspannung für den Sendeimpuls generiert wird, welche anschließend auf zwei Zweige gegeben und verzögert wird, wobei die Verzögerung des ersten Zweiges den Sendeimpuls liefert und größer ist als die Verzögerung des zweiten Zweiges, die den Abtastimpuls liefert, wobei die Zeitdehnung mittels eines Sequentiell-Sampling-Schaltkreises erfolgt. Der Zeitdehnungsfaktor muß dabei nicht bekannt sein.

In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird das reflektierte Signal durch eine Vier-Dioden-Sampling-Schaltung abgetastet und über den Echoverstärker sowie über einen A/D-Wandler einem Mikroprozessor oder Mikrokontroller zugeführt, welcher das reflektierte Signal auswertet und das Ergebnis "Bedeckung erkannt" oder "keine Bedeckung erkannt" an eine Anzeigeeinheit ausgibt oder in ein Schaltsignal umsetzt.

Der Startzeitpunkt des Zeitabtafstfensters kann allgemein immer anhand der Reflexionen erkannt werden, welche an der Ankopplung der Laufzeitleitung an die Prozeßdurchführung aufgrund unterschiedlichen Wellenwiderstände entstehen.

Die Ermittlung des Startzeitpunktes auf diese Weise bringt den Vorteil mit sich, daß der Zeitdehnungsfaktor der elektronischen Schaltung nur mit einer Genauigkeit von ca.  $\pm 10\%$  bis  $\pm 20\%$  vorliegen muß, so daß die elektronische Schaltung mit wenig Aufwand realisiert werden kann.

Aus einer Mehrzahl von Kurvenverläufen während des Abschnitts II kann z.B. durch Mittelung über eine Mehrzahl von Kurven eine Baseline bestimmt werden, welche als Referenzspannung fungiert, wobei der Startzeitpunkt des Zeitabtastfensters dadurch definiert ist, daß das Reflexionssignal um einen vorgegebenen Wert von der Baseline abweicht, und ermittelt wird, ob das aus dem Reflexionssignal gewonnene zeitgedehnte Signal innerhalb des Zeitabtastfensters einen Hochpunkt, einen ersten Tiefpunkt, einen zweiten Tiefpunkt und/oder einen lokalen Tiefpunkt und einen lokalen Hochpunkt und somit einen Wendepunkt aufweist.

Das aus dem Reflexionssignal gewonnene zeitgedehnte Signal kann mehrfach in einem Zyklus analog-digital gewandelt und ausgewertet werden, wobei eine Mehrzahl von Werten ermittelt und daraus ein Spannungs-Mittelwert gebildet wird, der als Baseline für die Auswertung des Hochpunktes dient, wonach festgestellt wird, ob der Wert des zeitgedehnten Signals um mehr als einen vorgegebenen Wert unterhalb der Baseline liegt, womit der Startzeitpunkt der Reflexion ermittelt wird, danach wird in weiteren Zyklen von diesem ermittelten Startzeitpunkt aus das zeitgedehnte Signal mit der maximalen Wiederholrate der Abtastung ermittelt und abgefragt, ob ein Hochpunkt, ein zweiter Tiefpunkt oder ein lokaler Tiefpunkt und ein lokaler Hochpunkt im zeitgedehnten Signal enthalten ist.

Für die Grenzstandserfassung können entweder Filter, z.B. FIR-Filter, oder zwei Zähler verwendet werden und zwar ein Zähler für "Bedeckung erkannt" und ein Zähler für "keine Bedeckung erkannt" verwendet werden und die Erkennung danach auf einen der Zähler aufgegeben wird.

In der Halterung sind vorzugsweise zwei parallele Stäbe angeordnet. Die Leitung ist vorzugsweise eine Koaxialleitung, deren wählbare Länge zur vorgebbaren Laufzeitverlängerung zwischen den hinlaufenden Sendepulsen und den rücklaufenden Reflexionssignalen und damit zu deren Unterscheidbarkeit durch die elektronische Schaltung dient, und damit eine Laufzeitleitung an der Prozeßdurchführung darstellt, wobei der Innenleiter der Koaxialleitung mit dem

einen Stab und der andere Stab über den Außenleiter mit Masse der elektrische Schaltung verbunden ist. Die Laufzeitleitung ist somit an die Prozeßdurchführung angekoppelt.

Der Wellenwiderstand der Koaxialleitung kann an denjenigen der Prozeßdurchführung unangepasst gewählt sein. In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist der Wellenwiderstand der Koaxialleitung jedoch an denjenigen der Prozeßdurchführung unangepasst gewählt.

Der Isolierkörper innerhalb der Prozeßdurchführung besteht in einer Ausführungsform der Erfindung schichtweise aus verschiedenen Materialien mit unterschiedlichen Dielektrizitätskonstanten, beispielsweise Peek und Teflon, so daß er ein geschichtetes Dielektrikum ist, wobei die Materialien einerseits die Prozeßdurchführung abdichten und andererseits die Mindestdicke aufweisen, welche für die Entstehung des Reflexionssignals zur Bestimmung des Startzeitpunktes des Zeitabtafens erforderlich ist. Die Prozeßdurchführung ist vorzugsweise zylinderförmig und besteht vorzugsweise aus elektrisch isolierendem Material, wie Teflon (PTFE) oder PEEK, innerhalb demselben sich die Stäbe befinden. Dieses Material kann zugleich zum Schutz der Stäbe beim Einsatz in chemisch aggressiven Medien dienen.

In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung weisen die Stäbe eine Beschichtung, wie Teflon, Keramik oder PEEK, auf, wobei bei der Verwendung von Teflon oder PEEK die Dicke der Beschichtung vorzugsweise zwischen 0,1 mm bis 1 mm beträgt. In einer Ausführungsform der Erfindung beträgt die aus der Prozeßdurchführung herausragende Länge der Stäbe zwischen 2 bis 15 cm, vorzugsweise 5 bis 7 cm.

Die Länge der Laufzeitleitung von der elektrischen Schaltung bis zum Anschluss an die in der Prozeßdurchführung sitzenden Enden der Stäbe beträgt in einer Ausführungsform der Erfindung mindestens 30 cm, vorzugsweise 30 cm bis 60 cm, um die zeitliche Trennung zwischen Sendepuls und Reflexionssignal zu vereinfachen. Der Abstand der Stäbe beträgt vorzugsweise zwischen 10 mm und 30 mm. Der Wellenwiderstand läßt sich über das Verhältnis dieses Abstandes zum Durchmesser der Stäbe wählen. Die Höhe der Prozeßdurchführung beträgt vorzugsweise zwischen 2 cm und 5 cm. In einer Ausführungsform der Erfindung

ist die Prozeßdurchführung druckdicht, vorzugsweise bis zu Drücken von 30 bar, ausgeführt.

Kurzbezeichnung der Zeichnung, in der zeigen:

Figur 1: ein Blockschaltbild einer Meßeinrichtung mit daran angeordneter Prozeßdurchführung ,

Figuren 2 a, b: ein Ersatzschaltbild der Prozeßdurchführung (a) mit den zum Ersatzschaltbild zugehörigen Spannungen (b),

Figur 3: gemessene Echokurven von verschiedenen Gütern,

Figur 4: ein Flußdiagramm eines Auswertalgorithmus für die Grenzstandserfassung unter Verwendung von zwei Zählern für "Erkennung" und "Nichtererkennung",

Figur 5: einen schematischen Querschnitt durch eine Prozeßdurchführung,

Figuren 6a-d: einzelne Echokurven mit den zu ihrer Auswertung benutzten Extremwerten.

Figur 1 zeigt den prinzipiellen Aufbau einer Meßschaltung mit einer zylinderförmigen Prozeßdurchführung 12, welche in einen Behälter 10 ragt, welcher ein Gut, das Medium 11, enthält. Das Koaxialkabel 13 ist an die hinteren Enden der Stäbe 3, 4 angeschlossen und dient als Laufzeitleitung. Das Koaxialkabel 13 endet in einer TDR-Schaltung 14, welche zwei Zweige 18, 19 aufweist.

Im Betrieb des TDR-Sensors bzw. der TDR-Sensorelektronik 14 wird mit jeder Periode eines Sende-Triggersignals XTS, welches von einem Trigger-Generator 23 erzeugt und mittels einer ersten Verzögerungsstufe 20 um eine konstante Zeitdauer verzögert wird und welches eine Pulsrepetierfrequenz  $f_{PRF}$  aufweist, durch eine Sendestufe 17 ein Sendepuls XS erzeugt und ausgesendet. Eine typische Pulsrepetierfrequenz liegt zwischen einigen 100 kHz bis zu einigen MHz.

In einer Signalabtastschaltung, hier eine Vier-Dioden-Sampling-Schaltung 22, der TDR-Schaltung 14 werden der Sendepuls XS der Sendestufe 17 und das Reflexionssignal XS<sub>Sonde</sub> abgetastet und zeitgedehnt, damit das Signal z.B. in einem Mikrokontroller oder Mikroprozessor 16 einfacher ausgewertet werden kann.

Das periodisch rückreflektierte Signal XS<sub>Sonde</sub> wird der Signalabtastschaltung 22 zugeführt, um den zeitlich kurzen Vorgang zeitgedehnt darstellbar und auswertbar

zu machen. Diese wird mit dem Triggersignal XTA der Abtastfrequenz  $f_A$  getriggert, wobei das Triggersignal XTA mit Hilfe einer zweiten Verzögerungsstufe 21 und eine variable Zeitdauer verzögert und das periodische Signal XSonde zu den Abtast-Triggerzeitpunkten abgetastet wird. Diese variable Verzögerung kann durch den Mikroprozessor 16 beeinflusst werden. Durch eine zeitproportionale Verzögerung des Abtast-Triggersignals gegenüber dem Sende-Triggersignal, beispielsweise durch eine etwas geringere Frequenz des Abtast-Triggersignals XTA gegenüber dem Sende-Triggersignal XTS, oder durch eine Phasenmodulation des Abtast-Triggersignals XTA gegenüber dem Sende-Triggersignal XTS, erzeugt die Signalabtasteinrichtung 22 ein Ausgangssignal, dessen Amplitudenverlauf durch die entsprechenden Augenblickswerte des Sonden-signals gegeben ist. Das Ausgangssignal stellt somit ein zeitgedehntes Bild des Sonden-signals XSonde dar.

Nach Verstärkung in einem Echoverstärker 15 und Filterung bildet dieses Ausgangssignal bzw. ein zeitlicher Ausschnitt desselben das Reflexionsprofil XVideo, aus welchem die Laufzeit des rückreflektierten Signals und damit der Abstand der Grenzschicht ermittelt werden kann. Das Reflexionsprofil XVideo wird über einen A/D-Wandler 24 dem Mikroprozessor 16 zugeführt, welcher das Reflexionsprofil erfindungsgemäß auswertet und das Ergebnis "Bedeckung erkannt" oder "keine Bedeckung erkannt" z.B. an eine Anzeigeeinheit 25 ausgibt oder in ein Schaltsignal umsetzt.

Die Messkurven der Reflexionssignale werden wie vorstehend beschrieben softwaremäßig ausgewertet und Maxima und/oder Minima und/oder Wendepunkte bestimmt. Aus diesen charakteristischen Kurvenpunkten ergibt sich, dass sich das reflektierte Signal bei unterschiedlichen Dielektrizitätskonstanten DK ändert, so dass mit der Erfindung auch der DK-Wert eines Gutes näherungsweise bestimmt werden kann. Der Kurvenverlauf, der im Prinzip immer ähnlich ist, unterscheidet sich signifikant bezüglich des DK-Wertes des zu messenden Gutes. Den Kurvenverläufen ist zu entnehmen, dass je höher der DK-Wert eines Gutes liegt, desto höher ist die kurvenmäßige Überhöhung zwischen Sendepuls und Reflexionssignal.

Schwierigkeiten können sich nur bei niedrigen DK-Werten von Gütern ergeben, wenn diese unter dem Wert von  $DK \approx 2,2...3$  liegen, jedoch lassen sich Güter mit einem kleinen DK-Wert in der Größenordnung von  $2,2...3$  und darunter noch

genau diskriminieren, insbesondere bei der Verwendung von zwei parallel zueinander verlaufenden Stäben, wobei mit der erfindungsgemäßen Prozeßdurchführung sowohl Güter mit hohem als auch mit niedrigerem DK-Wert gut ausgewertet werden können.

Die Figuren 2 a, b zeigen ein Ersatzschaltbild der Prozeßdurchführung (Fig. 2a) mit den zum Ersatzschaltbild zugehörigen Spannungen (Fig. 2b). In Figur 2a ist zur Erläuterung der Erfindung ein Ersatzschaltbild der Prozeßdurchführung dargestellt, links beginnend mit einem TDR-Schaltkreis, auf den eine Laufzeitleitung folgt, die an die Stäbe in der Prozeßdurchführung geführt ist. TDR-Schaltkreis und Laufzeitleitung besitzen einen Wellenwiderstand von beispielsweise je 75 Ohm. Die Prozeßdurchführung stellt zum Beispiel eine rohrförmige, metallische Prozeßdurchführung dar mit mehreren inkorporierten Isoliermaterialien mit unterschiedlichen Dielektrizitätskonstanten, in denen metallische Stäbe als Sonden mit je einem Ende angeordnet sind, wobei die Stäbe durch einen steigenden oder fallenden Pegel des Gutes benetzbar oder freigebbar sind. Die Isoliermaterialien besitzen zum Beispiel je einen Wellenwiderstand von 140 Ohm bzw. 170 Ohm, die metallische Prozeßdurchführung selbst einen solchen von 245 Ohm. Die Stäbe weisen zum Beispiel einen Wellenwiderstand von 250 Ohm auf; der Wellenwiderstand des Gutes oder der Enden der Stäbe sei nicht bekannt.

Dieser Abfolge entsprechen die in Figur 2b gezeigten Spannungen der Reflexionssignale bei Anregung mit einem positiven Spannungssprung. Wesentlich ist hierbei, dass im Falle des Leerlaufs der beiden Stäbe das Reflexionssignal gegenüber dem Sendepuls zum einen eine Überhöhung zeigt, welche zum anderen das gleiche Vorzeichen wie der Sendeimpuls hat. Im Falle des Kurzschlusses zeigt der Verlauf der Spannung des Reflexionssignals eine Absenkung, die das umgekehrte Vorzeichen wie der Sendeimpuls besitzt.

Figur 3 zeigt gemessene Echkurven verschiedener Güter, welche bei Anregung mit einem Puls 30 mit einer Prozeßdurchführung gemäß der Figur 4 gewonnen worden sind. Links im Diagramm befindet sich der Sendepuls, welcher auf die Stäbe aufgegeben wird. Rechts davon sind die unterschiedlichen Reflexionen unterschiedlicher Güter einschließlich einer Leerlaufkurve  $L_{\text{Leerlauf}}$  angegeben, nämlich von Pril, von Honig und von Kaffee. Zwischen Sendepuls und Reflexionssignal befindet sich ein relativ gerades Kurventeil  $L_{\text{Laufzeit}}$ , welches die Laufzeit-

leitung widerspiegelt und eine ausreichende zeitliche Trennung des Sendepulses vom Reflexionssignal ermöglicht.

Die erhaltene Kurvenform des zeitgedehnten Reflexionssignals am Echoverstärker dient zur bestimmung des Grenzstandes, wobei z.B. drei signifikante, innerhalb eines vorgegebenen Zeitabtastfensters liegende Punkte des Reflexionssignals numerisch bzw. mittels Kurvendiskussion ausgewertet werden.

Man erkennt, dass die Leerlaufkurve einem Reflexionssignal mit gleicher Vorzeichenrichtung wie der Sendepuls entspricht. Überschreitet der Spannungswert des Reflexionssignal bzw. des zeitgedehnten Signals einen vorgegebenen Wert, so wird das freie Ende des oder der Stäbe als unbenetzt erkannt, die Stäbe befinden sich im Leerlauf. Sind die Stäbe gerade in den Leerlauf übergegangen, so wird ein Schaltsignal erhalten.

Der Grenzstand des Gutes gilt dann als erkannt, wenn entweder nur ein Hochpunkt, bzw. Tiefpunkt entsprechend der Vorzeichenrichtung des Sendepulses, erkannt wird, welcher über einer vorgegebenen Spannungsschwelle liegt und der Hochpunkt die umgekehrte Vorzeichenrichtung wie der Sendepuls aufweist (Fast-Kurzschluß). In diesem Fall besitzt das Gut einen DK-Wert  $> 10$ . Werden zwei Tiefpunkte, bzw. zwei Hochpunkte entsprechend der Vorzeichenrichtung des Sendepulses, erkannt, welche zeitlich relativ weit auseinander liegen und die gleiche Vorzeichenrichtung wie der Sendepuls aufweisen und überschreitet die zwischen den beiden Tiefpunkten gemessene Spannungsdifferenz eine vorgegebene Schwelle, so wird ebenfalls ein Grenzstand eines Gutes erkannt, welches einen DK-Wert zwischen 5 bis 10 aufweist.

Ebenso wird ein Grenzstand des Gutes erkannt, wenn ein Tiefpunkt mit gleicher Vorzeichenrichtung wie der Sendepuls, bzw. Hochpunkt entsprechend der Vorzeichenrichtung des Sendepulses, und ein darauf folgender Hochpunkt mit umgekehrter Vorzeichenrichtung wie der Sendepuls erkannt werden, welche zeitlich nah beieinander liegen und dadurch einen Quasi-Wendepunkt bilden und die zwischen dem Tiefpunkt und dem Hochpunkt gemessene Spannungsdifferenz eine vorgegebene Schwelle überschreitet. Der Quasi-Wendepunkt der Kurve für Kaffee ist hier definiert durch zwei zeitlich nahe beieinander liegende Extrempunkte, Minima und Maxima gemäß der Figur 3.



Wenn das Gut eine hohe Dielektrizitätskonstante mit einem DK-Wert über 10 besitzt, wird das Merkmal erkannt, dass nur ein Hochpunkt auftritt, welcher welcher über einer vorgegebenen Spannungsschwelle liegt und die umgekehrte Vorzeichenrichtung wie der Sendepuls aufweist (Fast-Kurzschluß).

Wenn das Gut eine mittlere Dielektrizitätskonstante mit einem DK-Wert zwischen 5 bis 10 besitzt, wird das Merkmal erkannt, dass zwei Tiefpunkte auftreten, welche zeitlich relativ weit auseinander liegen und die gleiche Vorzeichenrichtung wie der Sendepuls aufweisen, wobei die zwischen den beiden Tiefpunkten gemessene Spannungsdifferenz eine vorgegebene Schwelle überschreitet.

Wenn das Gut eine kleine Dielektrizitätskonstante mit einem DK-Wert  $< 5$  besitzt, wird das Merkmal erkannt, dass ein Tiefpunkt mit gleicher Vorzeichenrichtung wie der Sendepuls und ein darauf folgender Hochpunkt mit umgekehrter Vorzeichenrichtung wie der Sendepuls auftreten, welche zeitlich nah beieinander liegen und dadurch einen Quasi-Wendepunkt bilden, wobei die zwischen dem Tiefpunkt und dem Hochpunkt gemessene Spannungsdifferenz eine vorgegebene Schwelle überschreitet.

Die beiden Tiefpunkte des Reflexionssignals, welche zeitlich relativ weit auseinander liegen, besitzen z.B. einen zeitlichen Abstand zwischen 3 bis 10 msec. Hingegen besitzen der Tiefpunkt von dem darauf folgenden Hochpunkt des Reflexionssignals bei einem Gut mit einem kleinen DK-Wert, zwischen 1,5-5, einen zeitlichen Abstand von typischerweise nur 0,1 bis 3 msec.

Gemäß den Grundlagen eines TDR-Sensors wird das aus dem Reflexionssignal gewonnene zeitgedehnte Signal mehrfach in einem Zyklus analog-digital gewandelt und ausgewertet, wobei eine Mehrzahl von Werten ermittelt und daraus ein Spannungs-Mittelwert gebildet wird, der als Grundlinie, Baseline, für die Auslösung des Startpunktes des Zeitabtastrasters und die Auswertung des Hochpunktes dient, wonach festgestellt wird, ob der Wert des zeitgedehnten Signals um mehr als einen vorgegebenen Wert unterhalb der Grundlinie liegt, womit der Startzeitpunkt der Reflexion ermittelt wird, danach wird in weiteren Zyklen von diesem ermittelten Startzeitpunkt aus das zeitgedehnte Signal mit der hohen Wiederholrate der Abtastung ermittelt und abgefragt, ob ein Hochpunkt, ein zweiter Tiefpunkt oder ein Quasi-Wendepunkt im zeitgedehnten Signal enthalten ist.

Für die Grenzstandserfassung werden vorzugsweise zwei Zähler verwendet und zwar ein Zähler für "Erkennung" und ein Zähler für "Nichterkenkung", wobei z.B. ein Auswertalgorithmus gemäß dem Flußdiagramm von Figur 5 verwendet wird. Die Detektion des Zustandes "bedeckt" bzw. "nicht bedeckt" wird vorzugsweise z.B. durch ein FIR-Filter gefiltert und erst dann ausgegeben. Die Wiederholfrequenz kann z.B. zu dem Zweck erhöht werden, die Störunempfindlichkeit zu vergrößern.

In Figur 4 ist ein schematischer Querschnitt durch eine Prozeßdurchführung gezeigt. Die Prozeßdurchführung, welche beispielsweise auf einem Drucktank sitzt, ist eine zylinderförmige Prozeßdurchführung 1 mit einem Metallgewinde, innerhalb derselben sich eine Halterung 8, 9, welche aus einem isolierenden Material ausgeführt ist, sowie Stäbe 3, 4 befinden, an deren Enden je eine Leitung 6, 7 einer Koaxialleitung 5 geführt ist, welche eine Laufzeitleitung darstellt. Der Wellenwiderstand der Koaxialleitung kann an denjenigen der elektrischen Schaltung angepasst sein, er ist jedoch nicht an den Wellenwiderstand der Prozeßdurchführung angepasst, so dass zwischen den Wellenwiderständen Sprünge bestehen und dadurch auch an der Prozeßdurchführung eine gewünschte Reflexion entsteht, welche dazu dient, den Beginn des Reflexionssignals eindeutig zu bestimmen. Der Wellenwiderstand der Koaxialleitung und der elektrischen Schaltung kann beispielsweise zwischen 65 Ohm und 85 Ohm, vorzugsweise bei 75 Ohm, liegen.

Das elektrisch isolierende Material 8 kann eine Scheibe 8 aus Teflon sein, wobei die Enden der Stäbe 3, 4 durch eine zusätzlich durch eine Scheibe 9 aus PEEK (Polyetheretherketon) geführt sind, die auf die Scheibe aus Teflon aufgesetzt ist. Die zylinderförmige Prozeßdurchführung 1 besitzt eine Höhe  $s$  von ungefähr 4 cm. Die Stäbe 3, 4 sind innerhalb des Zylinders 1 symmetrisch angeordnet, welche den Teflon-Zylinder 1 durchragen. Die Stäbe 3, 4 weisen eine freie Stablänge zwischen 2 bis 15 cm auf, vorzugsweise von 5 bis 7 cm.

Die Prozeßdurchführung kann auch eine zylinderförmige Prozeßdurchführung nur aus einem elektrisch isolierenden Material, wie Teflon (PTFE) oder PEEK (Polyetheretherketon), welches ein teilkristalliner Thermoplast ist, innerhalb derselben sich die Stäbe befinden. Auch hier ist der Wellenwiderstand der Prozeß-

durchführung nicht bzw. nicht genau an den Wellenwiderstand der Laufzeit- bzw. der Koaxialleitung angepasst.

Das erfindungsgemäße Zeitbereichsreflektometer besitzt den Vorteil, dass damit, insbesondere aufgrund von zwei parallel verlaufenden Stäben, eine gute Reflexion der reflektierten Pulse erreicht wird, welche durch die Laufzeitleitung eine ausreichende zeitliche Trennung von den Sendepulsen aufweisen, so dass die Reflexionseigenschaften, nämlich die sich ergebenden Kurvenformen der reflektierten Signale, gut ausgewertet werden können. In einer weiteren Ausführungsvariante des Zeitbereichsreflektometers sind die Stäbe mit Teflon oder mit Keramik beschichtet, wobei bei der Verwendung von Teflon die Dicke der Teflonschicht vorzugsweise zwischen 0,1 mm bis 1 mm beträgt. In einer weiteren Ausführung der Erfindung beträgt der Abstand (d) der Stäbe zwischen 10 mm bis 30 mm, wie auch die Höhe (s) der Prozeßdurchführung zwischen 2 cm und 5 cm betragen kann.

Die Figuren 6a-d zeigen einzelne Echokurven mit den zu ihrer Auswertung benutzten Extremwerten. Fig. 6a zeigt eine Leerlauf-Echokurve. Ein Leerlauf, Nichtbedeckung, wird erkannt, wenn das Reflexionssignal innerhalb des Zeitabtastfensters folgende Eigenschaften besitzt: Es liegt nur ein Tiefpunkt TP vor, der eine vorgegebene erste Schwelle (Schwelle 1) unterschreitet. Die Schwelle 1 wird ermittelt aus der Baseline und einem vorgegebenen Offset.

Fig. 6b zeigt eine Echokurve für Pril. Der erste Bedecktzustand wird daran erkannt, daß das Reflexionssignal innerhalb des Zeitabtastfensters folgende Eigenschaften besitzt: Es liegt ein Hochpunkt HP vor, der eine vorgegebene zweite Schwelle (Schwelle 2) überschreitet. Die Schwelle 2 wird ermittelt aus der Baseline und dem vorgegebenen Offset.

Fig. 6c zeigt eine Echokurve für Honig. Der zweite Bedecktzustand wird daran erkannt, daß das Reflexionssignal innerhalb des Zeitabtastfensters folgende Eigenschaften besitzt:

- Es liegen zwei Tiefpunkte TP1, TP2 vor, welche die gleiche Richtung haben wie der Sendepuls.
- Der zweite Tiefpunkt TP2 liegt um einen vorgegeben Betrag  $\Delta s$  unterhalb des Tiefpunktes TP1.

Fig. 6d zeigt eine Echokurve für Kaffee. Der Zustand dritte Bedecktzustand wird erkannt, wenn das Reflexionssignal innerhalb des Zeitabtafiensters folgende Eigenschaften besitzt:

- Es liegt nur ein Tiefpunkt TP vor, der eine vorgegebene erste Schwelle (Schwelle 1) unterschreitet. Die Schwelle 1 wird ermittelt aus der Baseline und einem vorgegebenen Offset.
- Zwischen dem Startzeitpunkt des Zeitabtafiensters und dem Tiefpunkt TP liegt ein Wendepunkt vor, des sich zwischen einem lokalen Tiefpunkt LTP und einem lokalen Hochpunkt LHP befindet. Der lokale Tiefpunkt LTP und der lokale Hochpunkt überschreiten hierbei einen vorgegebenen Mindestabstand.

Der Startzeitpunkt des Zeitabtafiensters wird dabei ermittelt wie folgt:

- Es wird im Abschnitt II eine Baseline ermittelt.
- Die Baseline im Bereich III wird um einen vorgegebenen Betrag unterschritten.

Der Startzeitpunkt des Zeitabtafiensters kann allgemein immer anhand der Reflexionen erkannt werden, welche an der Ankopplung der Laufzeitleitung an die Prozeßdurchführung aufgrund unterschiedlichen Wellenwiderstände entstehen. Die Ermittlung des Startzeitpunktes auf diese Weise bringt den Vorteil mit sich, daß der Zeitdehnungsfaktor der elektronischen Schaltung 14 nur mit einer Genauigkeit von ca.  $\pm 10\%$  bis  $\pm 20\%$  vorliegen muß, so daß die elektronische Schaltung 14 mit wenig Aufwand realisiert werden kann.

**Patentansprüche**

1. Verfahren zur Erfassung des Grenzstandes eines Gutes (11) mit gegebener Dielektrizitätskonstante, unter Verwendung einer Halterung (1) als Prozeßdurchführung, in der wenigstens ein elektrisch leitender Stab (3,4) mit einem Ende angeordnet sind, dessen anderes Ende bei Erreichen des Grenzstandes in das zu überwachende Gut (11) eintaucht, wobei das in der Halterung (1) sitzende Ende des Stabes (3,4) über eine elektrische Leitung (5, 13) mit einer elektrischen Schaltung (14) zur Erzeugung von Hochfrequenz-Sendepulsen verbunden ist, die zum Empfang der Echos einen Echoverstärker (15) aufweist, wobei die Hochfrequenz-Sendepulse als geführte Mikrowelle nach dem Prinzip der Zeitbereichsreflektometrie, TDR-Messung, über die Leitung (5, 12) auf den Stab (3,4) aufgegeben werden, wobei die an der Grenzschicht des Gutes (11) zur Luft reflektierten Signale in den Echoverstärker (15) zur Auswertung zurückgeleitet werden und das Reflexionssignal zeitgedehnt wird, und drei zeitlich aufeinanderfolgende Bereiche, nämlich Sendepuls (Abschnitt I), Laufzeit (Abschnitt II) und Zeitabtafstfenster (Abschnitt III) unterschieden werden, wobei das Zeitabtafstfenster zu einem Startzeitpunkt beginnt, gekennzeichnet durch folgende Merkmale:
- a) bei beiden Betriebszuständen des zu erfassenden Gutes (11), nämlich Bedeckung, Kurzschluss bzw. Fastkurzschluss, sowie Nichtbedeckung, Leerlauf, wird ein Reflexionssignal an der Grenzschicht Stab-Medium bzw. Stab-Luft erzeugt durch die Änderung des Wellenwiderstandes, welche an der Grenzschicht Stab-Medium oder Stab-Luft vorliegt,
  - b) die am Echoverstärker (15) erhaltene Kurvenform des zeitgedehnten Reflexionssignals dient zur Bestimmung des Grenzstandes, wobei innerhalb des Zeitabtafstfensters mindestens drei signifikante Punkte des Reflexionssignals numerisch bzw. mittels Kurvendiskussion ausgewertet werden und aus mindestens einem Kurvenverlauf während des Abschnitts II eine Referenzspannung ermittelt wird, wobei
  - c) eine Nichtbedeckung, Leerlauf, daran erkannt wird, daß das Reflexionssignal innerhalb des Zeitabtafstfensters folgende Eigenschaften besitzt:
    - es liegt nur ein Tiefpunkt (TP) vor, der unterhalb einer vorgegebenen ersten Schwelle liegt, welche sich von der Referenzspannung durch einen Offset unterscheidet,

d) ein erster Bedecktzustand daran erkannt wird, daß das Reflexionssignal innerhalb des Zeitabtastrfensters folgende Eigenschaften besitzt:

- es liegt ein Hochpunkt (HP) vor, welcher oberhalb einer vorgegebenen zweiten Schwelle liegt, wobei diese zweite Schwelle ebenfalls aus der Referenzspannung und dem Offset ermittelt wird,

e) ein zweiter unterschiedlicher Bedecktzustand daran erkannt wird, daß das Reflexionssignal innerhalb des Zeitabtastrfensters folgende Eigenschaften besitzt:

- es liegen zwei Tiefpunkte (TP1, TP2) vor,
- der zeitlich zweite Tiefpunkt (TP2) liegt um einen vorgegebenen Betrag unterhalb des ersten Tiefpunktes (TP1),

f) ein dritter unterschiedlicher Bedecktzustand daran erkannt wird, daß das Reflexionssignal innerhalb des Zeitabtastrfensters folgende Eigenschaften besitzt:

- es liegt ein Tiefpunkt (TP) vor, der unterhalb einer vorgegebenen ersten Schwelle liegt, welche sich von der Referenzspannung durch einen Offset unterscheidet,
- zwischen dem Startzeitpunkt des Zeitabtastrfensters und dem Tiefpunkt (TP) befindet sich ein Wendepunkt, der zwischen einem lokalen Hochpunkt (LHP) und einem lokalen Tiefpunkt (LTP) liegt, wobei der lokale Tiefpunkt (LTP) und der lokale Hochpunkt (LHP) einen vorgegebenen Mindestabstand überschreiten.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Startzeitpunkt des Zeitabtastrfensters dadurch definiert ist, daß das Reflexionssignal um einen vorgegebenen Wert vom Referenzwert abweicht.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass zwei parallel in der Halterung (1) angeordnete Stäbe (3,4) verwendet werden, wobei als Leitung eine Koaxialleitung (5, 13) verwendet wird, deren wählbare Länge zur vorgebbaren Laufzeitverlängerung zwischen den hinlaufenden Sendepulsen und den rücklaufenden Reflexionssignalen und damit zu deren zeitlicher Trennbarkeit dient, wobei der Innenleiter der Koaxialleitung (5, 13) mit dem einen Stab (3, 4) und der andere Stab (3, 4) über den Außenleiter mit Masse der elektrischen Schaltung (14) verbunden oder kapazitiv an Masse angekoppelt ist.

4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß bei hoher Dielektrizitätskonstante des Gutes mit einem DK-Wert  $>10$  das Merkmal d), bei mittlerer Dielektrizitätskonstante des Gutes mit einem DK-Wert

zwischen 5 bis 10 das Merkmal e) und bei kleiner Dielektrizitätskonstante des Gutes mit einem DK-Wert  $< 5$  das Merkmal f) erkannt wird .

5. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass

- aus einer Mehrzahl von Kurvenverläufen während des Abschnitts II eine Baseline als Referenzspannung bestimmt wird,
- der Startzeitpunkt des Zeitabtafstfensters dadurch definiert ist, daß das Reflexionssignal um einen vorgegebenen Wert von der Baseline abweicht, und
- ermittelt wird, ob das aus dem Reflexionssignal gewonnene zeitgedehnte Signal innerhalb des Zeitabtafstfensters einen Hochpunkt, einen ersten Tiefpunkt, einen zweiten Tiefpunkt oder einen lokalen Tiefpunkt und einen lokalen Hochpunkt und somit einen Wendepunkt aufweist.

6. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass für die Grenzstandserfassung entweder Filter, z.B. FIR-Filter, oder zwei Zähler verwendet werden und zwar ein Zähler für "Bedeckung erkannt" und ein Zähler für "keine Bedeckung erkannt" verwendet werden und die Erkennung danach auf einen der Zähler aufgegeben wird.

7. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass bis zu sechs signifikante Punkte (TP, TP1, TP2, HP, LTP, LHP) der Kurvenform ausgewertet werden.

8. Zeitbereichsreflektometer für den Einsatz als Grenzwertschalter zur Erfassung des Grenzstandes eines Gutes (11) mit gegebener Dielektrizitätskonstante, mit einer Halterung (1) als Prozeßdurchführung (1, 12), in der wenigstens ein elektrisch leitender Stab (3,4) mit einem Ende angeordnet ist, dessen anderes Ende bei Erreichen des Grenzstandes in das zu überwachende Gut (11) eintaucht, wobei das in der Halterung (1) sitzende Ende des Stabes (3,4) über eine elektrische Leitung (5, 13) mit einer elektrischen Schaltung (14) zur Erzeugung von Hochfrequenz-Sendepulsen verbunden ist, die zum Empfang der Reflexionssignale, Echos, einen Echoverstärker (15) aufweist, wobei die Hochfrequenz-Sendepulse als geführte Mikrowelle nach dem Prinzip der Zeitbereichsreflektometrie, TDR-Messung, über die Leitung (5, 13) auf den Stab (3,4) aufgebbar sind, und die an der Grenzschicht des Gutes zur Luft reflektierten Signale in den Echoverstärker (15) zur Auswertung zurückgeleitet und zeitgedehnt werden, wobei die Wellenwiderstände des Stabes (3,4) und der

Prozeßdurchführung (1, 12) so gewählt sind, dass in der Auswertung drei zeitlich aufeinanderfolgende Bereiche, nämlich Sendepuls (Abschnitt I), Laufzeit (Abschnitt II) und Zeitabtastfenster (Abschnitt III) unterschieden werden können, wobei die innerhalb des Zeitabtastfensters ermittelten Kurvenformen der Reflexionssignale zur Bestimmung des Grenzstandes dient

9. Zeitbereichsreflektometer nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass bis zu sechs signifikante Punkte (TP, TP1, TP2, HP, LTP, LHP) der Kurvenform ausgewertet werden.

10. Zeitbereichsreflektometer nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass in der Halterung (1) zwei parallele Stäbe (3,4) angeordnet sind und die Leitung eine Koaxialleitung (5, 13) ist, deren wählbare Länge zur vorgebbaren Laufzeitverlängerung zwischen den hinlaufenden Sendepulsen und den rücklaufenden Reflexionssignalen und damit zu deren Unterscheidbarkeit durch die elektronische Schaltung (14) dient, und damit eine Laufzeitleitung an der Prozeßdurchführung (1, 12) darstellt, wobei der Innenleiter der Koaxialleitung (5, 13) mit dem einen Stab und der andere Stab über den Außenleiter mit Masse der elektrischen Schaltung (14) verbunden ist.

11. Zeitbereichsreflektometer nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass der Wellenwiderstand der Koaxialleitung (5, 13) an denjenigen der Prozeßdurchführung (1,12) angepasst gewählt ist.

12. Zeitbereichsreflektometer nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Prozeßdurchführung (1, 12) eine rohrförmige Prozeßdurchführung (12) mit einem äußeren Metallgewinde ist, innerhalb derselben sich mindestens ein Isolierkörper als isolierende Halterung für die Stäbe (3, 4) sowie dieselben befinden.

13. Zeitbereichsreflektometer nach einem der Ansprüche 8 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass der Isolierkörper innerhalb der Prozeßdurchführung (1, 12) schichtweise aus verschiedenen Materialien, beispielsweise Peek und Teflon, mit unterschiedlichen Dielektrizitätskonstanten besteht und somit ein geschichtetes Dielektrikum ist, wobei die Materialien einerseits die Prozeßdurchführung abdichten und andererseits die Mindestdicke aufweisen,



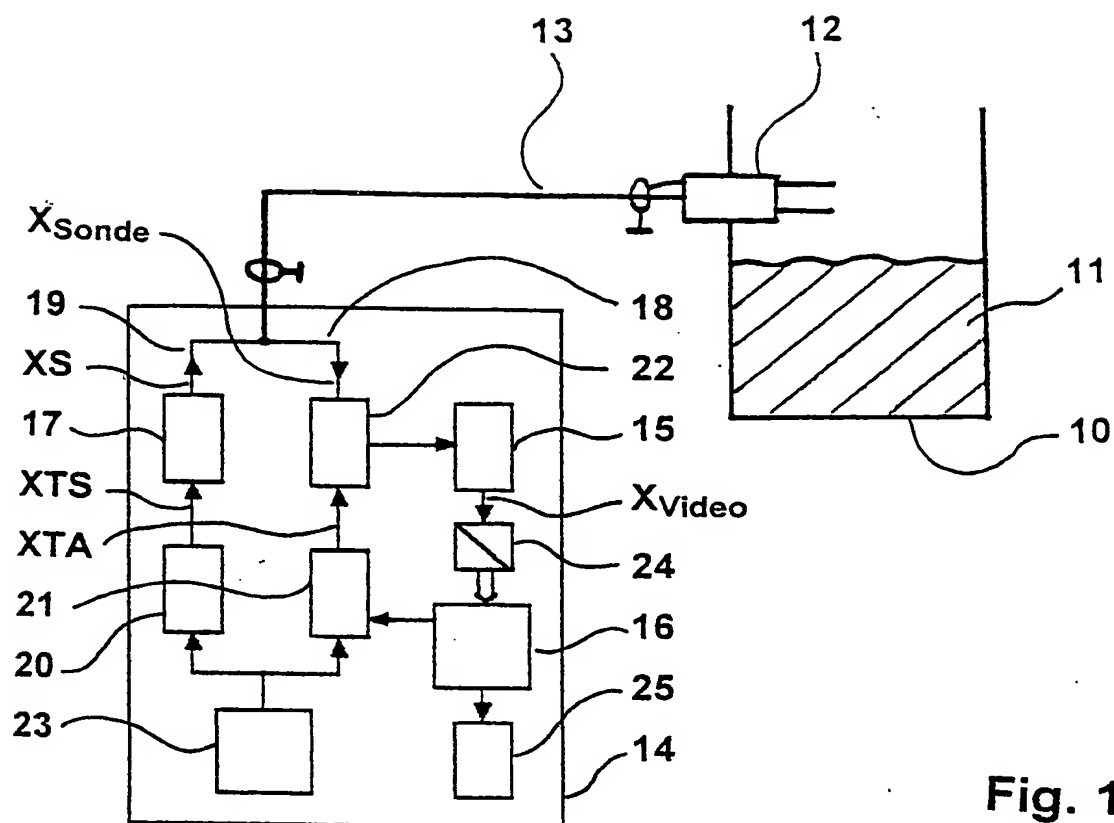
welche für die Entstehung des Reflexionssignals zur Bestimmung des Startzeitpunktes des Zeitabtastfensters erforderlich ist.

14. Zeitbereichsreflektometer nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Prozeßdurchführung (1, 12) zylinderförmig ist und aus elektrisch isolierendem Material, wie Teflon (PTFE) oder PEEK, besteht, innerhalb derselben sich die Stäbe (3,4) befinden.
15. Zeitbereichsreflektometer nach einem der Ansprüche 12 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Stäbe (3,4) eine Beschichtung, wie Teflon, Keramik oder PEEK, aufweisen, wobei bei der Verwendung von Teflon oder PEEK die Dicke der Beschichtung vorzugsweise zwischen 0,1 mm bis 1 mm beträgt.
16. Zeitbereichsreflektometer nach einem der Ansprüche 12 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass die aus der Prozeßdurchführung (1,12) herausragende Länge der Stäbe zwischen 2 bis 15 cm, vorzugsweise 5 bis 7 cm, beträgt.
17. Zeitbereichsreflektometer nach einem der Ansprüche 12 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Länge der Laufzeitleitung (5) von der elektrischen Schaltung (14) bis zum Anschluss an die in der Prozeßdurchführung (1, 12) sitzenden Enden der Stäbe (3,4) mindestens 30 cm, vorzugsweise 30 cm bis 60 cm, beträgt.
18. Zeitbereichsreflektometer nach einem der Ansprüche 12 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass der Abstand (d) der Stäbe (3,4) zwischen 10 mm und 30 mm beträgt.
19. Zeitbereichsreflektometer nach einem der Ansprüche 12 bis 18, dadurch gekennzeichnet, dass die Höhe der Prozeßdurchführung (1,12) zwischen 2 cm und 5 cm beträgt.
20. Zeitbereichsreflektometer nach einem der Ansprüche 12 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass die Prozeßdurchführung druckdicht ausgeführt ist, vorzugsweise bis zu Drücken von 30 bar.

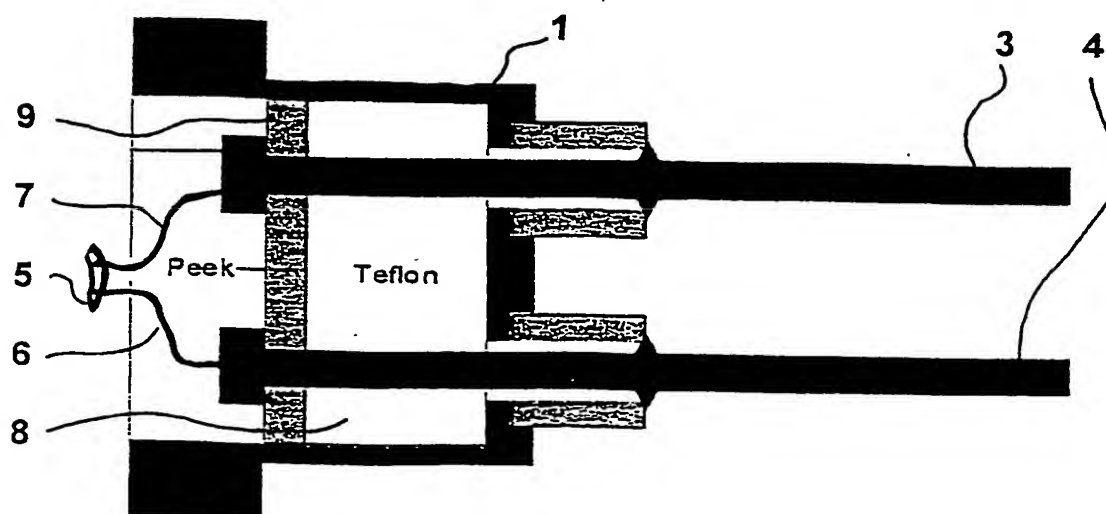
## 25

21. Zeitbereichsreflektometer nach einem der Ansprüche 8 bis 20, dadurch gekennzeichnet, dass das reflektierte Signal durch eine Vier-Dioden-Sampling-Schaltung (22) abgetastet und über den Echoverstärker (15) sowie über einen A/D-Wandler (24) einem Mikroprozessor (16) zugeführt wird, welcher das reflektierte Signal auswertet und das Ergebnis "Bedeckung erkannt" oder "keine Bedeckung erkannt" an eine Anzeigeeinheit (25) ausgibt oder in ein Schaltsignal umsetzt.

**1 / 6**



**Fig. 1**



**Fig. 4**

2 / 6

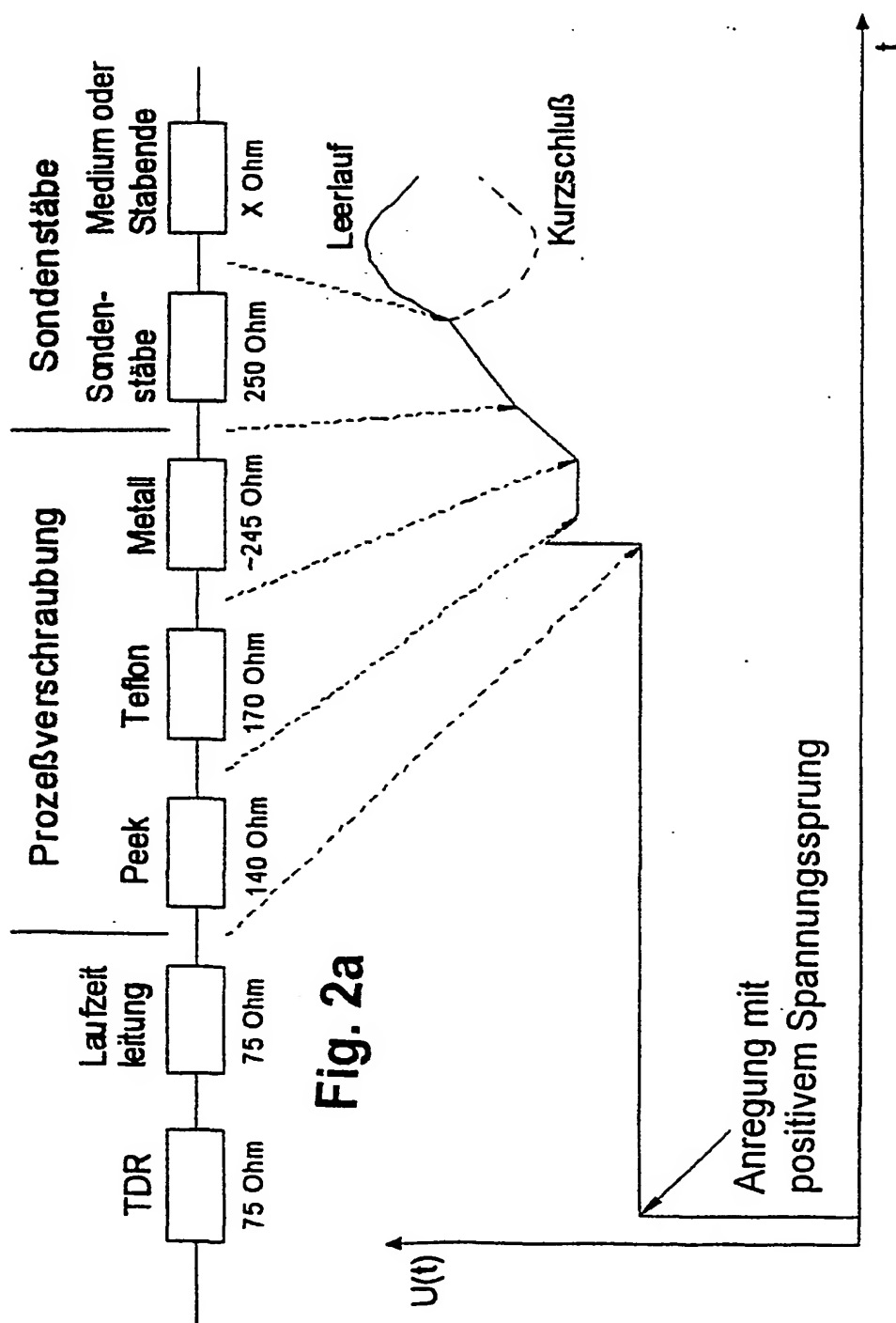


Fig. 2b

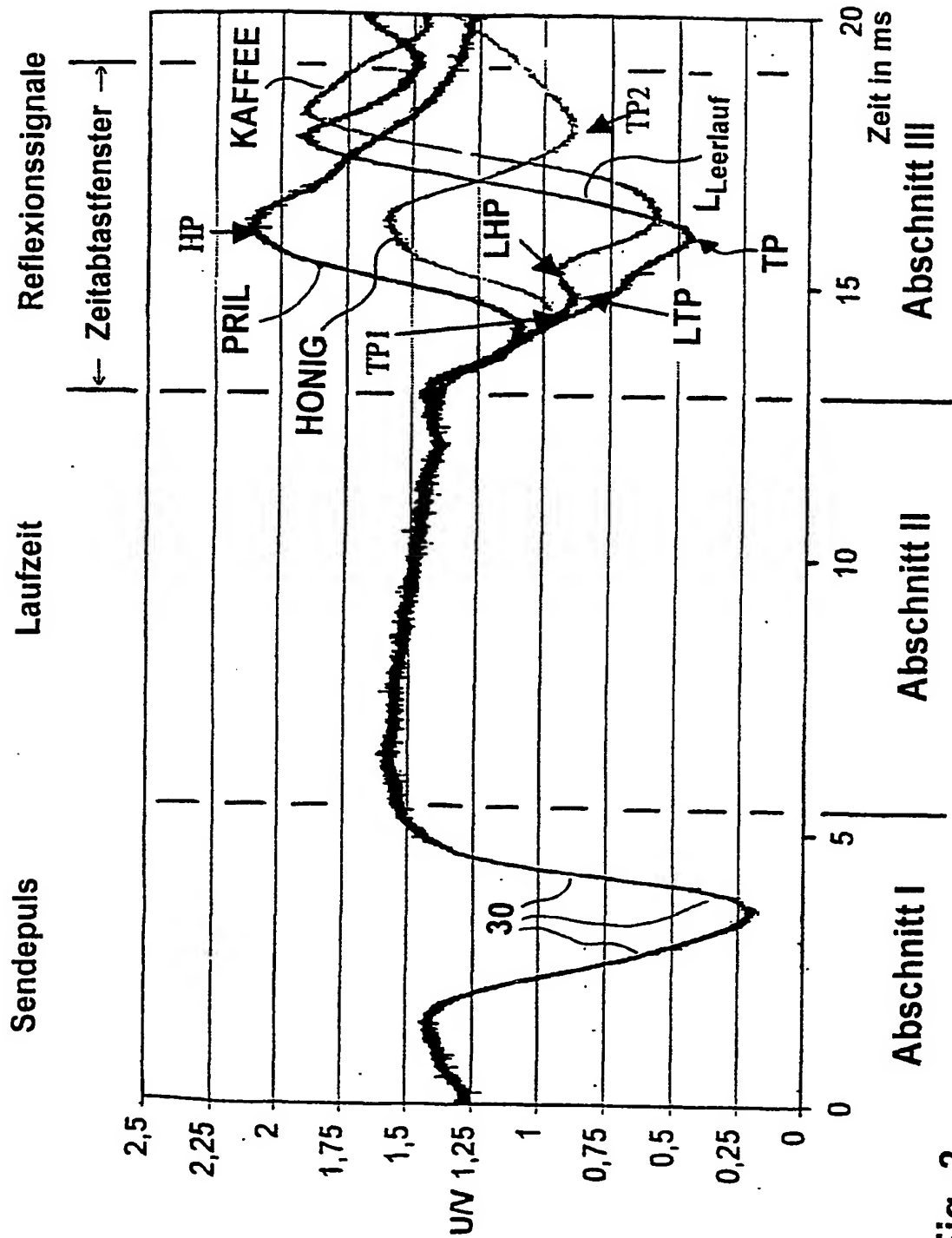


Fig. 3

4 / 6

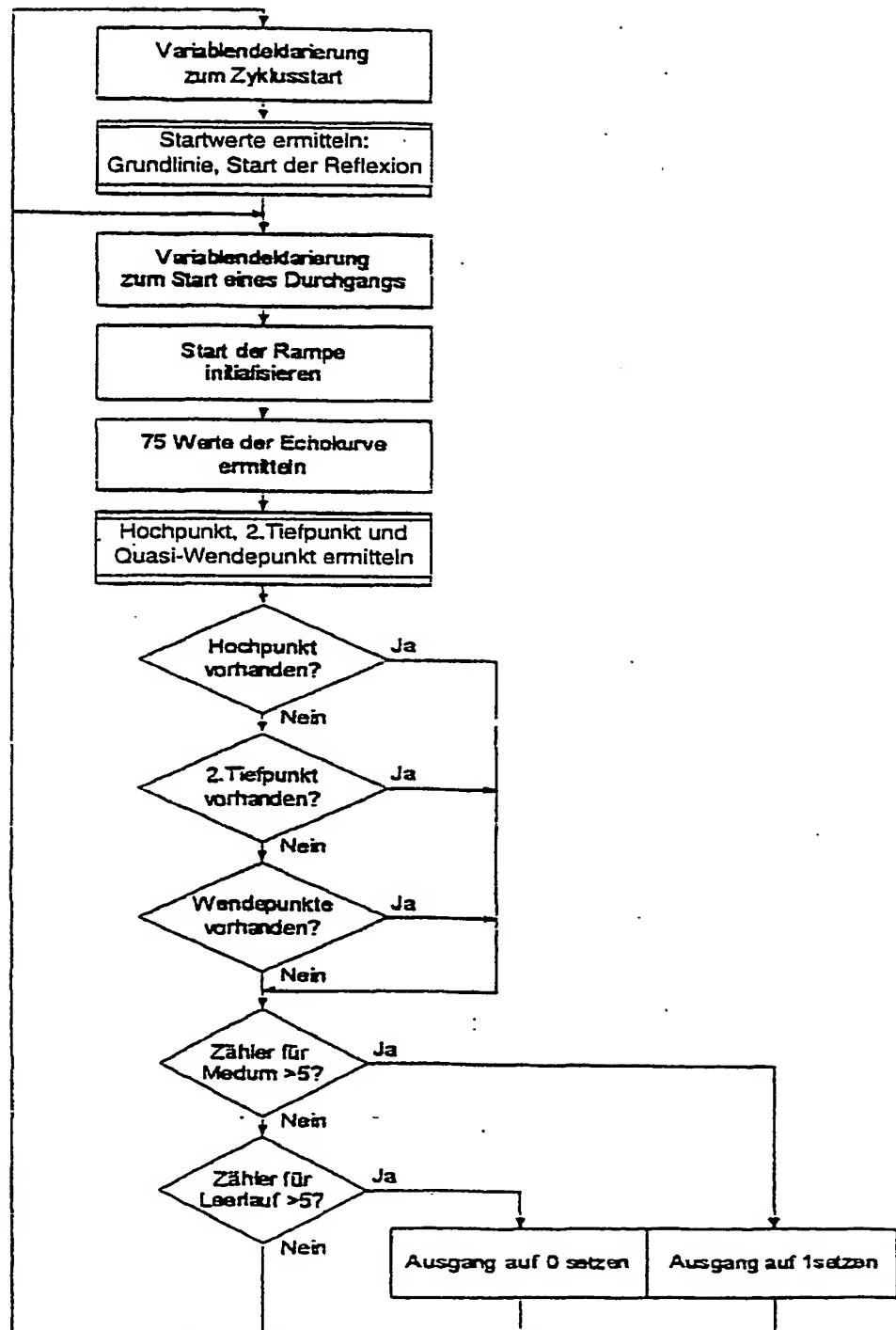


Fig. 5

5 / 6

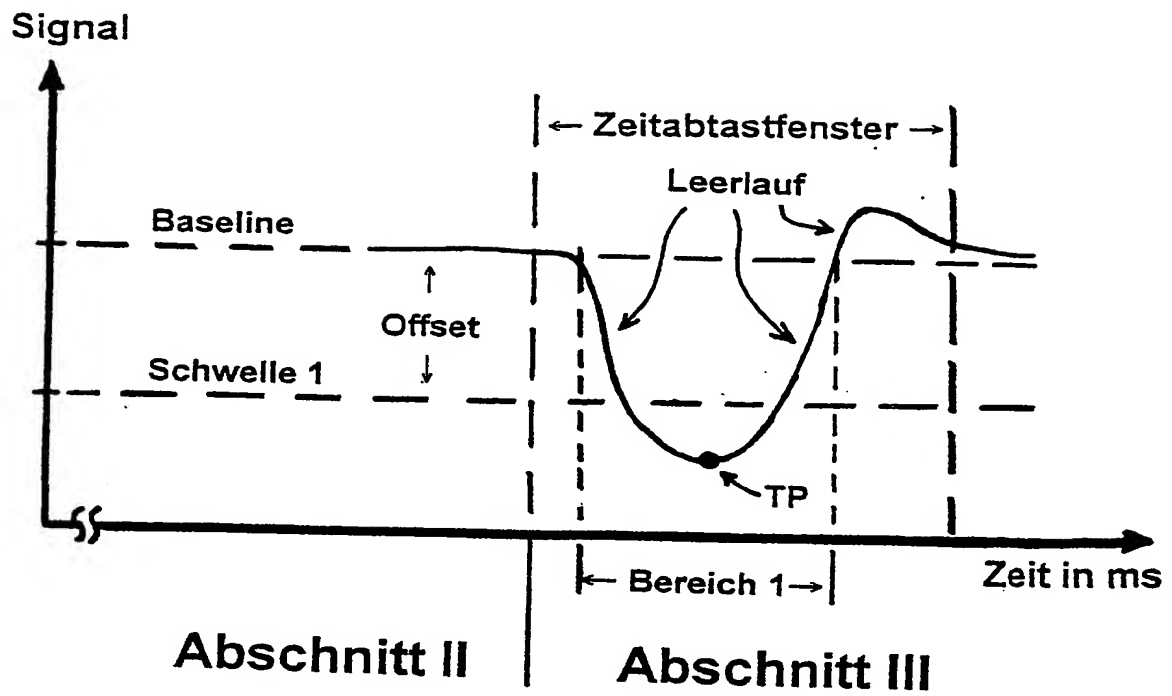


Fig. 6a

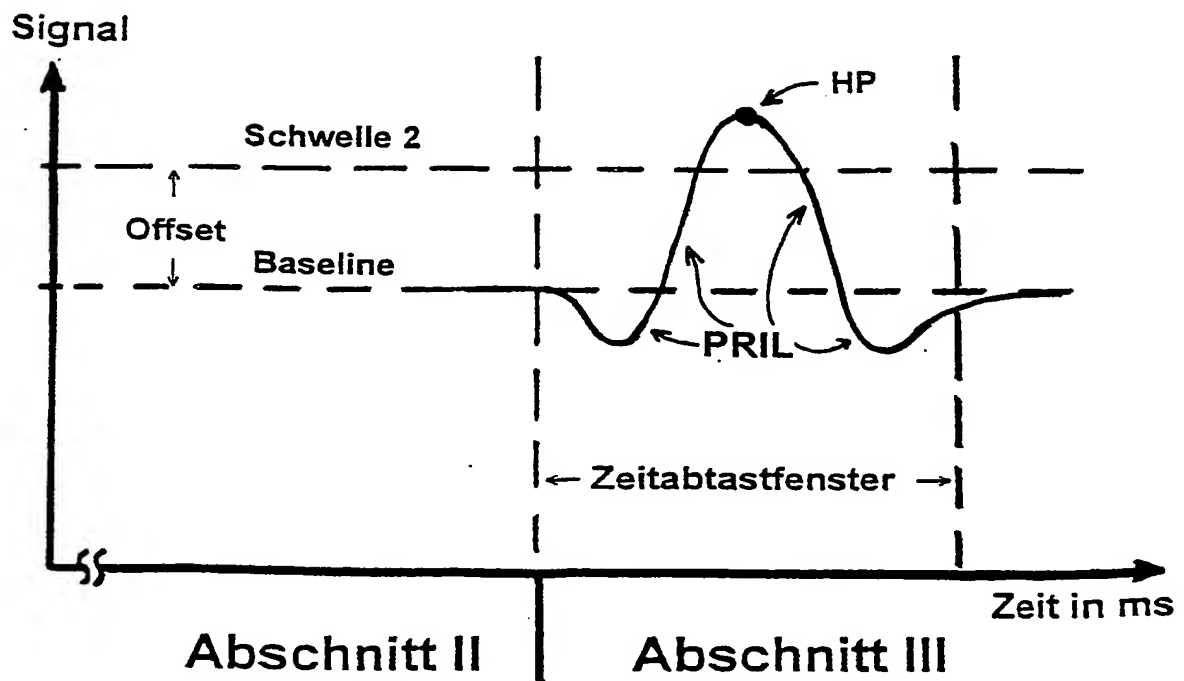


Fig. 6b

6 / 6

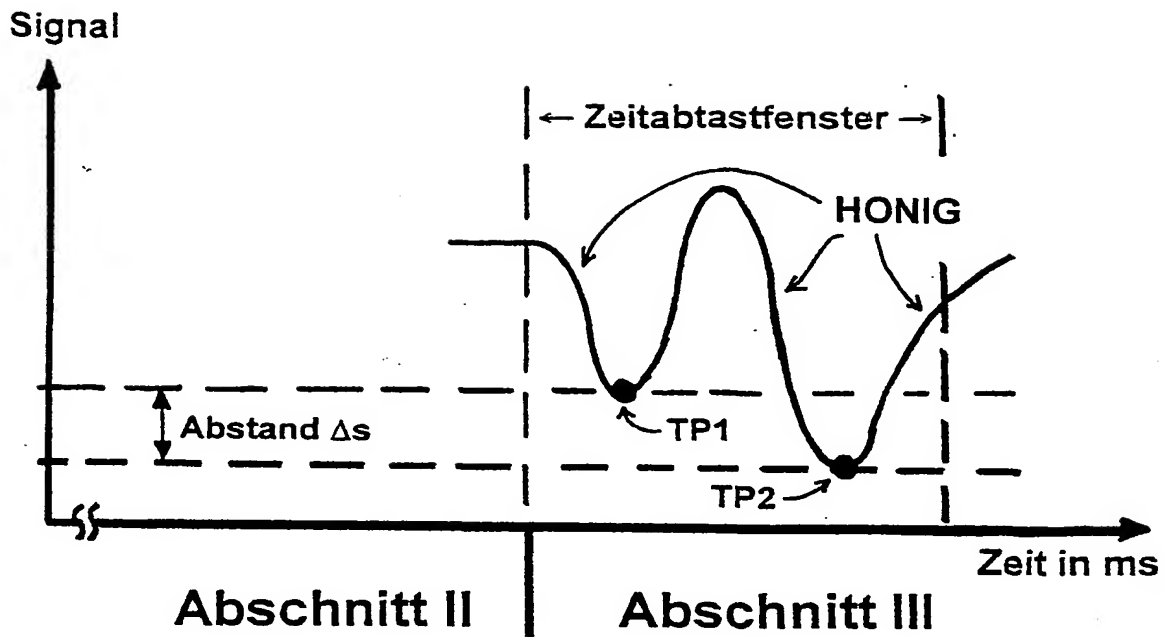


Fig. 6c

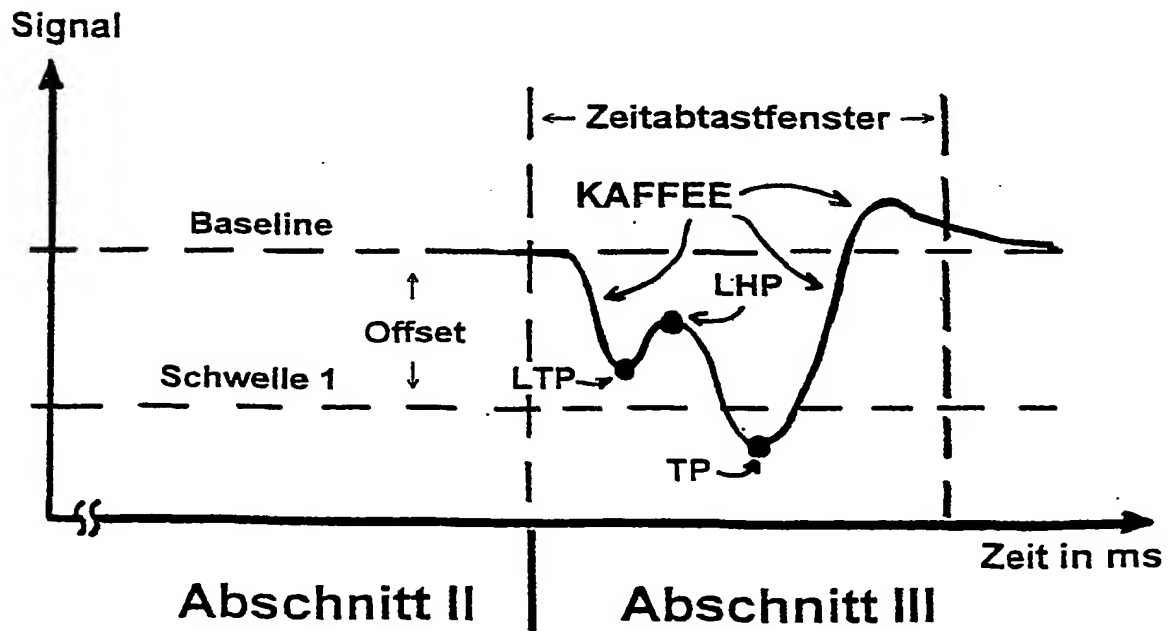


Fig. 6d